

国立天文台 天文学データ解析計算センター
成果報告書 (平成 17 年度)

提出期限：平成18年3月20日(月)17:00 必着

応募カテゴリ（いずれかを選択） B

システム（いずれかを選択） VPP

プロジェクト ID:wna38b

研究代表者（現在のユーザ ID : asaink）

氏名	浅井 直樹	
所属機関名	千葉大学大学院自然科学研究科	
連絡先住所	〒 263-8522 千葉市稲毛区弥生町 1-33 千葉大学理学部物理学科宇宙物理学研究室	
電話番号	043(290)3720	
ファクシミリ	043(290)3721	
E-mail	asai@astro.s.chiba-u.ac.jp	
職または学年	博士後期課程 2 年	
研究代表者が学生の場合には指導教官の氏名	松元 亮治	

研究課題名

(和文)	銀河団プラズマにおける熱輸送と構造形成の3次元磁気流体数値実験
(英文)	Three-Dimensional MHD Simulations of Heat Transport and Structure Formation of Hot Plasmas in Cluster of Galaxies

研究分担者

[illegible]

成果に関連して出版、もしくは印刷、投稿中の論文リスト

(1) このプロジェクト（同様の過去のプロジェクトも含む）での成果

今年度中に出版された論文、国際会議集録、国際会議、学会、研究会発表、その他出版物（印刷中、投稿中の場合はその旨を記載すること）

- MHD simulations of plasma heating in cluster of galaxies: Asai, N., Fukuda, N., & Matsumoto, R., *Astronomische Nachrichten*, 2006, in press.
- MHD simulations of plasma heating in cluster of galaxies: Asai, N., Fukuda, N., & Matsumoto, R., *The Origin and Evolution of Cosmic Magnetism*, August 2005.
- 熱伝導と放射冷却を含めた銀河団プラズマの MHD 数値実験: 浅井直樹, 福田尚也, 松元亮治, 第 18 回理論天文学懇談会シンポジウム, 2005 年 12 月 (集録 pp. 264)
- 銀河団プラズマ加熱の磁気流体数値実験: 浅井直樹, 福田尚也, 松元亮治, 日本流体力学会 年会 2005, 2005 年 9 月 (集録 pp. 117)

(2) これまでのプロジェクトの今年度中の成果

今年度中に出版された論文、国際会議集録、国際会議、学会、研究会発表、その他出版物（印刷中、投稿中の場合はその旨を記載すること）

評価資料として利用いたしますので、様式・順序は任意ですが、学術論文については題名、著者、発行年月、雑誌名、巻、ページが記載されていること。

- Three-dimensional MHD simulations of X-ray emitting subcluster plasmas in cluster of galaxies: Asai, N., Fukuda, N., & Matsumoto, R., *Advances in Space Research*, Volume 36, Issue 4, pp. 636-642 (2005)

成果の概要

1 Introduction

近年の X 線観測により、銀河団中心部の構造が明らかになり、多くの銀河団において、その中心部の温度は周囲に比べ、 $1/2 \sim 1/3$ 程度に下げ止まっていることがわかった (e.g., Ikebe et al. 1997, Peterson et al. 2001)。この銀河団プラズマの温度分布を説明するためには、放射冷却とバランスする中心部へのエネルギー輸送や加熱が必要と考えられており、AGN ジェットや周囲からの熱伝導による加熱などがその候補と考えられている (e.g., Churazov et al. 2002, Cho et al. 2003)。熱伝導の振る舞いは磁場存在下では磁力線方向に依存するため、磁場を考慮した多次元シミュレーションが必要である。そこで我々は銀河団プラズマの熱的安定性を調べるため、放射冷却と熱伝導を含めた 2 次元 MHD シミュレーションを行なった。

2 Simulation model

我々は放射冷却と熱伝導を含む2次元散逸性MHDコードを用いてシミュレートした。座標系はカーテシアン座標とし、長さ、速度、密度、時間のユニットは、 $r_0 = 15 \text{ kpc}$ 、 $v_0 = 790 \text{ km s}^{-1}$ 、 $\rho_0 = 5 \times 10^{-27} \text{ g cm}^{-3}$ 、 $t_0 = r_0/v_0 = 2 \times 10^7 \text{ yr}$ とした。計算領域は、 $900 \text{ kpc} \times 900 \text{ kpc}$ 、メッシュ数は、 1024×1024 である。熱伝導は、磁力線方向にのみ伝わる非等方熱伝導を用いている (Yokoyama & Shibata 1997)。放射冷却は熱制動放射を仮定する (e.g., Fujita & Suzuki 2005)。電気抵抗モデルには、太陽フレアの計算で採用されている異常抵抗モデルを用いる。

乱流磁場中での銀河団プラズマの熱的安定性を調べるため、まず、銀河団の重力ポテンシャル中を運動する磁気圏を持つサブクランプをシミュレートし、銀河団全体に弱い磁場を形成する。このとき熱伝導と放射冷却は無視する。乱流磁場形成後を初期状態として熱伝導と放射冷却を含めてシミュレートする。計算モデルは、熱伝導と放射冷却を含めた model MI、放射冷却のみを含めた model MII、熱伝導のみを含めた MIII、両者を含めて磁場のない model H の4つである。

3 Simulation results

Fig. 1 は、 $t = 0.4 \text{ Gyr}$ での model MI (上図) と model MII (下図) の温度分布を示す。それぞれ、サブクランプの運動に励起された乱流磁場を持つ。Model MII では、放射冷却の効果により高密度の銀河団コアの温度は下がる。一方、Model MII では、熱伝導の効果により初期の温度勾配は均される。Fig. 2 は、model MI、MII、MIII、H の最低温度 (コアの温度) の時間発展を

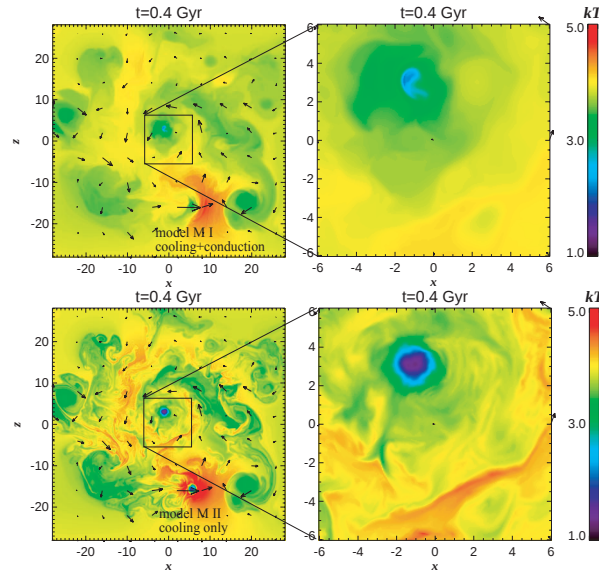


図 1: Model MI (上図) と model MII (下図) の $t = 0.4 \text{ Gyr}$ での温度分布。左図は全計算領域、右図はその中心部 ($180 \text{ kpc} \times 180 \text{ kpc}$) を示す。

示す。Model MII では急速に温度が下がるのに対して、model MI では熱伝導の効果により銀河団コアは加熱され、 1 Gyr 以上保たれる。Model MIII では放射冷却の効果を見逃しているため、コアは加熱され、その後ほぼ一様に保たれる。磁場を考慮しない Model H では等方的熱伝導の効果により、磁場があるモデルよりも急速に温度勾配が均される。このモデルでは計算領域の温度

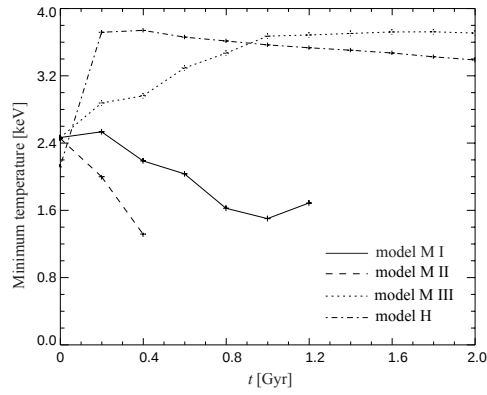


図 2: 銀河団コアの温度の時間発展。実線、破線、点線、鎖線はそれぞれ、model M I、M II、M III、H の結果を示す。

分布はほぼ一様となり、低温と高温プラズマは共存できない。

4 Summary and discussion

我々は乱流磁場存在下において ICM からの熱伝導がどのように中心部の放射冷却とバランスするかを調べた。Fig. 1 と Fig. 2 で示したように、model M I では熱伝導の効果により銀河団コアの温度は、1 Gyr 以上保たれる。また、磁場による熱伝導抑制により低温と高温領域が存在する。ここで銀河団コアの冷却の抑制に対して磁場の効果を考察する。銀河団コアが冷却により収縮することにより中心部での磁気圧が強まるはずである。そのとき、磁気圧によりコアの収縮が抑制されたり、乱流磁場の収縮は磁気リコネクションを起こし、コアが加熱されたりする可能性がある。

参考文献

- [1] Cho, J., Lazarian, A., Honein, A., Knaepen, B., Kassinos, S., Moin, P.: 2003, ApJ, 589, L77
- [2] Churazov, E., Sunyaev, R., Forman, W., Böhringer, H.: 2002, MNRAS 332, 729
- [3] Fujita, Y., Suzuki, K.T.: 2005, ApJ 630, L1
- [4] Ikebe, Y., Makishima, K., Fukazawa, Y., Tamura, T., Xu, H., Ohashi, T., Matsushita, K.: 1999, ApJ 525, 58
- [5] Peterson, J.R. et al.: 2001, A&A 365, L104
- [6] Yokoyama, T., Shibata, K.: 1997, ApJ 474, L61